

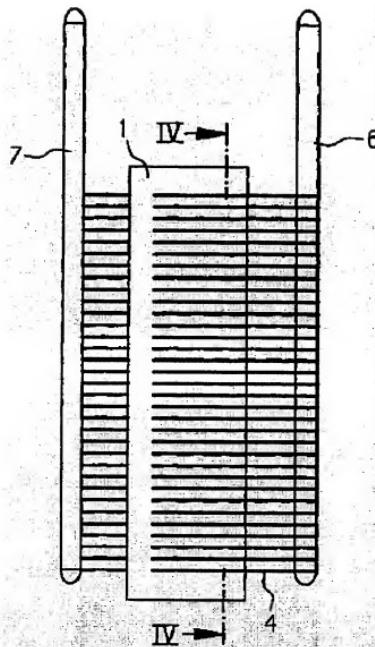
**Piezoactuator with multi-layer structure has separate contact wire projecting sideways from piezoactuator stack for each electrode layer**

**Patent number:** DE19945933  
**Publication date:** 2001-05-17  
**Inventor:** CRAMER DIETER (AT); KAINZ GERALD (AT); SCHUH CARSTEN (DE)  
**Applicant:** EPCOS AG (DE)  
**Classification:**  
- **international:** H01L41/047; H01L41/083; H01L41/00; H01L41/083; (IPC1-7): H01L41/083; H01L41/047; H02N2/04  
- **european:** H01L41/047; H01L41/083  
**Application number:** DE19991045933 19990924  
**Priority number(s):** DE19991045933 19990924; WO2001DE00947 20010313

**Also published as:**  
 WO02073656 (A3)  
 WO02073656 (A2)

[Report a data error here](#)**Abstract of DE19945933**

The piezoelectric actuator has a stack (1) of piezoelectric ceramic layers, alternating with electrode layers, contacted in alternation by metallisations on the opposing sides of the stack, for providing opposing electrical polarities. Each metallisation is connected to a respective contact wire (4), projecting horizontally outwards from the side of the stack, for mechanical and electrical connection to a common terminal element (6,7) for each polarity. An Independent claim for a piezoactuator manufacturing method is also included.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

**Patentschrift**  
**DE 199 45 933 C 1**

⑩ Int. Cl. 7:  
**H 01 L 41/083**  
H 01 L 41/047  
H 02 N 2/04

**DE 199 45 933 C 1**

- ⑩ Aktenzeichen: 199 45 933.9-35  
⑩ Anmeldetag: 24. 9. 1999  
⑩ Offenlegungstag: -  
⑩ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 17. 5. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑩ Patentinhaber:  
EPCOS AG, 81541 München, DE

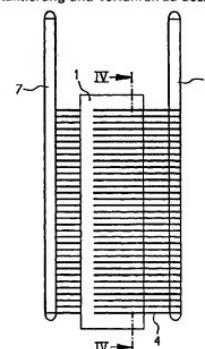
⑩ Vertreter:  
Epping, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 80339  
München

⑩ Erfinder:  
Cramer, Dieter, Graz, AT; Kainz, Gerald, Dr., Graz,  
AT; Schuh, Carsten, Dr., 85598 Baldham, DE

⑩ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
DE 196 46 676 C1  
US 48 399  
JP 0 6-23 24 664 A  
JP 04-2 67 984 A

**⑩ Piezosektor mit isolationszonenfreier elektrischer Kontaktierung und Verfahren zu dessen Herstellung**

⑩ Piezosektor in Vielschichtbauweise, bei dem piezoelektrische Keramischichten (8) und Elektrodenbeschichten (3, 5) alternierend übereinander in einem Stapel (1) angeordnet sind, und bei dem die Elektrodenbeschichten (3, 5) zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität mit seitlich am Stapel (1) aufgebrachten Metallisierungen (2) verbunden sind, die wiederum elektrisch leitend mit einer Weiterverspannung verbunden sind, bei dem für jede Elektrodenbeschicht (3, 5) ein Draht eine horizontale, an der jeweiligen Elektrodenbeschicht (3, 5) entlanglaufende Metallisierung (2) aufgebracht ist, dadurch gekennzeichnet,  
daß die Elektrodenbeschichten (3, 5) sich isolationszonenfrei über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels (1) erstrecken,  
daß jede Metallisierung (2) mit einem eigenen, horizontal über einen Teil einer Seite des Stapels (1) und seitlich darüber hinaus verlaufenden Kontaktierungsdräht (4) verbunden ist, und daß die Enden der seitlich überstehenden Bereiche der zu Elektrodenbeschichten (3, 5) gleicher Polarität gehörenden Kontaktierungsdrähte (4) mit einem gemeinsamen Anschlußelement mechanisch und elektrisch verbunden sind.



**DE 199 45 933 C 1**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Piezokerator in Vielschichtbauweise, bei dem piezoelektrische Keramikschichten (8) und Elektrodenschichten (3, 5) alternierend übereinander zu einem Stapel (1) angeordnet sind, bei dem die Elektrodenschichten (3, 5) zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität mit seitlich am Stapel (1) aufgebrachten Metallisierungen (2) verbunden sind, die wiederum elektrisch leitend mit einer Weiterkontakteierung sind, und bei dem für jede Elektrodenschicht (3, 5) separat eine horizontale, an der jeweiligen Elektrodenschicht (3, 5) mindestens über einen Teil des Stapelumfangs entlanglaufende Metallisierung (2) aufgebracht ist.

Ein Piezokerator ist heispielsweise in der DE 196 46 676 C1 ausführlich beschrieben. Bei derartigen Piezokeramiken wird der Effekt ausgenutzt, daß diese sich unter einem mechanischen Druck bzw. Zug aufdeulen und andererseits bei Anlegen einer elektrischen Spannung entlang der Hauptrichtung der Keramischichten ausdehnen. Zur Vervielfachung der nutzbaren Längenausdehnung werden monolithische Vielschichtaktoren verwendet, die aus einem gesinterten Stapel dünner Folien aus Piezokeramik (z. B. Bleizirkonatitan) mit eingesetzten metallischen Innenelektroden bestehen. Die Innenelektroden sind wechselseitig aus dem Stapel herausgeführt und über Außenelektroden elektrisch parallel geschaltet. Auf den beiden Kontaktseiten des bis zu ca. 40 nun hohen Stapels ist hierzu jeweils eine streifen- oder bandförmige, durchgehende Außenmetallisierung aufgebracht, die mit allen Innenelektroden gleicher Polarität verbunden ist. Zwischen Außenmetallisierung und elektrischen Anschlüssen wird häufig noch eine in vielen Formen ausführbare Weiterkontakteierung, z. B. ein Cukaschierter Kaptonfolienstreifen, aufgebracht. Legt man eine elektrische Spannung an die Außenkontakteierung, so dehnen sich die Piezofolien in Feldrichtung aus. Durch die mechanische Serienschaltung der einzelnen Piezofolien wird die Nennspannung des gesamten Staples schon bei relativ niedrigen elektrischen Spannungen erreicht.

Derartige Aktionen sind durch den mechanischen Huh einer erheblichen Belastung ausgesetzt. Von entscheidender Bedeutung für die Lebensdauer von Multilayeraktoren im dynamischen Betrieb ist, zur Erzielung hoher Zyklenzahlen und hoher Zuverlässigkeit, die elektrische Außenkontakteierung. Multilayeraktoren aktueller Baumaßen enthalten mehrere Hundert Innenelektroden, die üblicherweise durch Siebdrücken einer Silber-Palladium-Paste und anschließendes Cofring mit den Keramikschichten erzeugt werden. Diese Innenelektroden müssen zuverlässig und dauerhaft mit dem externen elektrischen Anschluß verbunden werden.

Die aus der DE 196 46 676 C1 bekannte Kontaktierungslösung erfolgt durch Einbringen von Isolationszonen in den Aktor mittels eines speziellen Innenelektrodenlayouts. In diesen Isolationszonen können die Innenelektroden gleicher Polarität separat durch eine vertikale, stufenförmige Außenmetallisierung miteinander verbunden werden. Diese Metallisierungsbahnen werden meistens mit einer Weiterkontakteierung, beispielsweise seitlich am Stapel überstehende Kontaktbahnen, und/oder weiteren Anschlußelementen versehen, um die Außenkontakteierung des Aktors zu vervollständigen.

In den piezoelektrisch inaktiven Isolationszonen, die bisher in den Multilayeraufbau eingebettet werden, entstehen bei Ansteuerung des Piezokerators mechanische Spannungen, die besonders im dynamischen Betrieb zu Diammationsrisiken und im weiteren Verlauf zu Kontaktunterbrechungen führen. Eine sukzessive Verringerung der erreichten Auslenkung bzw. ein kompletter Ausfall des Aktors ist die Folge.

Ein Piezokerator nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 ist beispielsweise in der US 4,845,399 beschrieben. Dort sind außen am Aktor-Stapel die Innenelektroden durch strömlose Metallabscheidung unter Ausbildung erhabener horizontaler Metallisierungslinien verstärkt. Die Kontaktierung der Metallisierungslinien erfolgt durch im wesentlich vertical verlaufende Anschlußbändchen oder -drähte, die seitlich am Stapel aufgebracht sind. Diese Anschlußbändchen oder -drähte können auch horizontale Abschnitte aufweisen oder einen zickzackförmigen oder wellenartigen Verlauf besitzen.

Ein Piezokerator ist aus JP-A-6-232466 bekannt. Ein elektrostriktiver Aktor mit seitlich aufgebrachten horizontalen Metallisierungslinien ist aus JP-A-4-287984 bekannt.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, einen hinsichtlich der geschilderten Problematik verbesserten Piezokerator der eingangs genannten Art und ein Verfahren zu seiner Herstellung bereitzustellen.

Erfundengemäß wird dieses Ziel bei einem Piezokerator 20 des eingangs genannten Art dadurch erreicht, daß die Elektrodenschichten sich isolationszonenfrei über den gesamten Stapelaquerschnitt bis zu den seitlichen Oberflächen des Staples erstrecken, daß jede Metallisierung mit einem horizontal über einen Teil einer Seite des Staples und seitlich darüber hinaus verlaufenden Kontaktierungsdräht verhindert ist, und daß die Enden der seitlich überstehenden Bereiche der zu Elektrodenschichten gleicher Polarität gehörenden Kontaktierungsdrähte mit einem gemeinsamen Anschlußelement mechanisch und elektrisch verbunden sind.

Durch einen Innenelektrodenlayout ohne inaktive Isolationszonen kann demnach erfundengemäß die Entstehung inhomogener mechanischer Spannungen im Aktor weitestgehend verhindert werden. Die Möglichkeit zur separaten Kontaktierung jeder einzelnen Innenelektrode an der Aktoroberfläche wird durch horizontale, hinsichtlich elektrischer Überschläge ausreichende zueinander beabstandete Einzelmetallisierungen geschaffen.

Die mechanische und elektrische Verbindung zwischen den horizontal angeordneten Metallisierungspunkten oder einer horizontalen Metallisierungslinie und den typischerweise stufenförmigen Anschlußelementen kann je nach den Gegebenheiten unterschiedlich vorgenommen werden. Eine für viele Anwendungssituationen vorteilhafte Anschlußkonfiguration wird dadurch erreicht, daß die Elektrodenschichten unterschiedlicher Polarität durch Metallisierungen kontaktiert sind, die auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Staples aufgebracht sind, so daß auf jeder dieser Seiten nur jede zweite Elektrodenschicht kontaktiert ist. Zum Auffangen mechanischer Spannungen erweist sich dabei besonders die erfundengemäß Konfiguration mit den seitlich überstehenden Kontaktierungsdrähten als vorteilhaft, bei der zu einer Polarität gehörende Kontaktierungsdrähte mit einem gemeinsamen Anschlußelement verbunden sind. Die Kontaktierungsdrähte können insbesondere auf gegenüberliegenden Seiten in entgegengesetzte horizontale Richtungen parallel übereinander bis zu vertikal angeordneten Anschlußstiften weitergeführt sein.

Ein erfundengemäßes Verfahren zur Herstellung eines derartigen Piezokerators umfaßt das Aufbringen horizontal verlaufender separater metallischer Metallisierungspunkte oder Metallisierungslinien auf jede der sich bis zu den seitlichen Oberflächen des Staples erstreckenden Elektrodenschichten mittels Siebdruck und anschließendem Einbrand.

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 einen erfundengemäßem Piezokerator mit Außenkontakteierung in einer Seitenansicht,

Fig. 2 einen Piezokerator gemäß dem Stand der Technik mit

## Isolationszonen,

Fig. 3 den Aktor gemäß Fig. 1 in einer Ansicht von oben, Fig. 4 in einem Ausschnitt die Verbindung zwischen Kontaktierungsdrähten und den mit Metallisierungslinien versehenem Aktor gemäß Fig. 1 in Schnittdarstellung.

Fig. 1 zeigt beispielshalber einen Stapel 1, dessen nur in Fig. 4 erkennbar, mit horizontalen Metallisierungen 2 versehene Elektrodenschichten 3 und 5 mit horizontalen Kontaktierungsdrähten 4 verbunden sind. An der dem Betrachter zugewandten Seite des Stapels 1 sind alle Elektrodenschichten 3 gleicher Polarität, also nur jede zweite Schicht im Stapel 1, über die einzelnen Kontaktierungsdrähte 4 kontaktiert, die wie erkennbar, über den rechten Rand des Stapels 1 hinweg weitergeführt und mit einem ersten senkrechten Anschlußstift 6 verbunden sind. Analog sind auf der vom Betrachter abgewandten Seite des Stapels 1 die Elektrodenschichten 3 gemeinsam, aber der die Vorderseite entgegengesetzte Polarisierung durch parallel übereinander verlaufende Kontaktierungsdrähte 4 bis zu einem linken neben dem Stapel 1 angeordneten zweiten senkrechten Anschlußstift 7 weitergeführt. Insgesamt ergibt sich eine entfernt einer Harfe ähnliche Anschlußkonfiguration.

Fig. 2 zeigt einen bekannten, aus zahlreichen Keramikschichten 8 und Elektrodenschichten 3 und 5 aufgebauten Stapel 1. Erkennbar sind die inaktiven Isolationszonen 9, die abwechselnd in gegenüberliegenden Ecken der aufeinander folgenden, hier sich nicht über den gesamten Stapelquerschnitt erstreckenden Elektrodenschichten 3 und 5 angeordnet sind. Dieser Aufbau ermöglicht, wie dargestellt, den gemeinsamen Anschluß aller Elektrodenschichten 3 gleicher Polarität durch ein vertikales Metallisierungsband 10, das gegebenenfalls durch eine seitlich überstehende Kontaktfläche 11 weiterkontakteierbar ist.

Fig. 3 zeigt den Stapel 1 mit seitlich bestandeten, sich diametral gegenüberstehenden Anschlußstiften 6 und 7. Etwaige Dehnungen, Schwingungen etc. am Stapel 1 werden in den Kontaktierungsdrähten 4 abgebaut.

Fig. 4 zeigt im Ausschnitt und in Schnittdarstellung die Ausführungsform gemäß Fig. 1 und 3, bei der an zwei Seiten - und deshalb an jeder Seite jeweils nur jede zweite Elektrodenschicht, z.B. 3 - einzeln kontaktiert wird. Diese Variante erfordert eine Erhöhung des bisherigen Innenelektrodenabstandes von 80 µm auf 200 µm. Bei einseitig kontaktierten Stapelen wäre dann noch ein Innenelektrodenabstand gleicher Polarität von ca. 400 µm erforderlich. In jedem Fall lassen sich Metallisierungspunkte oder -linien auf einem gewünschten Teilbereich jeder Elektrodenschicht, genauer: auf die an die seitlichen Oberflächen des Stapels 1 anstoßende Außenkante der Elektrodenschichten 3 und 5, mittels Siebdruck und anschließendem Einbrand realisieren. Diese ausreichend bestandenen Metallisierungen bleiben auch bei Feldstärken um 2 kV/mm stromsepariert. Typische Abmessungen einer solchen Metallisierungslinie sind 60 µm Breite und 4 mm Länge. Die Kontaktierungsdrähte 4 weisen einen Durchmesser von typischerweise 0,05 mm auf. Die Dicke der Elektrodenschichten 3 und 5 beträgt z.B. 0,003 mm.

Mit dem erhöhten Innenelektrodenabstand geht eine verringerte Anzahl von Keramikschichten bzw. eine erhöhte Dicke derselben einher. Dies führt zwar zu einer höheren Spannung, die für ein Ansprechen der mit größerer Dicke als bisher verwendeten Keramikschichten erforderlich ist. Unter Kosten gesichtspunkten ist jedoch die Verringerung des insgesamt notwendigen Innenelektrodenmaterials (Ag-Pd) wesentlicher.

Auf den beiden Seiten des Stapels 1 kann jede derart kontaktierte, also jede zweite, Elektrodenschicht 3 bzw. 5 einzeln mit einem der parallel laufenden Kontaktierungsdrähte

4 in einem Lötprozess (Bügelölanlage oder Laserlötlösung) verbunden werden. Es lassen sich demnach hinsichtlich Lebendauer und Zuverlässigkeit optimierte Multilayeraktoren großserientauglich fertigen.

## Patentansprüche

1. Piezokerator in Vielschichtbauweise, bei dem piezoelektrische Keramikschichten (8) und Elektrodenschichten (3, 5) alternierend übereinander zu einem Stapel (1) angeordnet sind, und bei dem die Elektrodenschichten (3, 5) zu elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität mit seitlich zu Stapel (1) aufgebrachten Metallisierungen (2) verbunden sind, die wiederum elektrisch leitend mit einer Weiterkontaktierung verbunden sind, bei dem für jede Elektrodenschicht (3, 5) separat eine horizontale, an der jeweiligen Elektrodenschicht (3, 5) unståndes über einen Teil des Stapelumfangs entlanglaufende Metallisierung (2) aufgebracht ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenschichten (3, 5) sich isolationszonenzufällig über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels (1) erstrecken, jede Metallierung (2) mit einem eigenen, horizontal über einen Teil einer Seite des Stapels (1) und seitlich darüber hinaus verlaufenden Kontaktierungsdrähten (4) verbunden ist, und daß die Enden der seitlich überschreitenden Bereiche der zu Elektrodenschichten (3, 5) gleicher Polarität gehörenden Kontaktierungsdrähte (4) mit einem gemeinsamen Anschlußelement mechanisch und elektrisch verbunden sind.

2. Piezokerator nach Anspruch 1, bei dem die Metallierung (2) als horizontal nebeneinander angeordnete Metallisierungspunkte oder horizontal verlaufende Metallisierungslinie aufgebracht ist.

3. Piezokerator nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Elektrodenschichten (3, 5) unterschiedlicher Polarität durch Metallisierungen (2) kontaktiert sind, die auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Stapels (1) aufgebracht sind, so daß auf jeder dieser Seiten nur jede zweite Elektrodenschicht (3, 5) kontaktiert ist.

4. Piezokerator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem an einer Seite des Stapels (1) die überstehenden Enden der horizontalen Kontaktierungsdrähte (4) parallel zueinander bis zu einem ersten vertikalen Anschlußstift (6) geführt und mit diesem elektrisch verbunden sind, während an der gegenüberliegenden Seite des Stapels (1) die Kontaktierungsdrähte (4) in gleicher Weise, jedoch in entgegengesetzte horizontale Richtung, zu einem zweiten vertikalen Anschlußstift (7) geführt und mit diesen elektrisch verbunden sind.

5. Verfahren zur Herstellung eines Piezokersors nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem horizontal verlaufende separate metallische Metallisierungspunkte oder Metallisierungslinien (2) auf jede der sich bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels (1) erstreckenden Elektrodenschichten (3, 5) mittels Siebdruck und anschließendem Einbrand aufgebracht werden und bei dem die aufgebrachten und eingebrannten Metallisierungen (2) in einem Lötprozess mit jeweils einem der parallel übereinander verlaufenden Kontaktierungsdrähte (4) so verbunden werden, daß sie seitlich des Stapels überstehen.

- Leerseite -

FIG 1

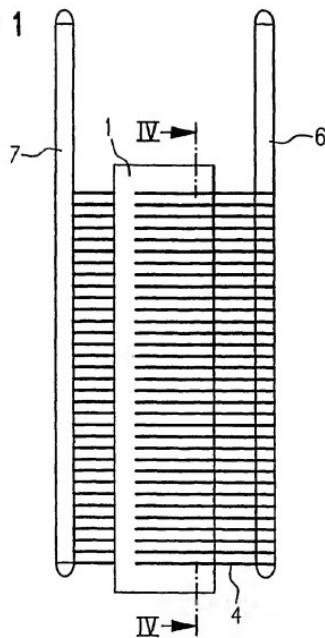


FIG 3

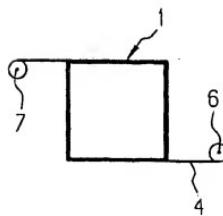


FIG 2

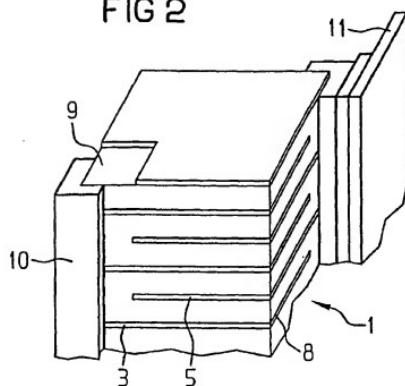


FIG 4

